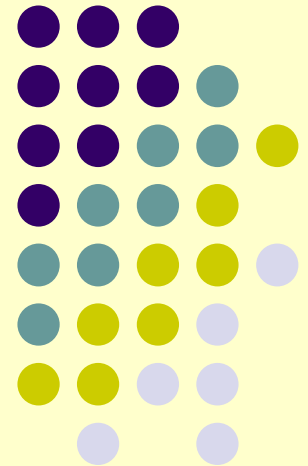


Tuctové hvězdy: Trpaslíci a pidiobři

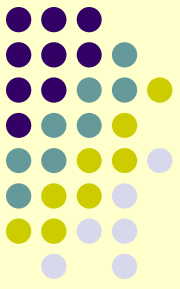
Zdeněk Mikulášek,

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky
Masarykovy univerzity, Brno





Úvod



Co v sobě tají naleštěná nádhera zimní oblohy?

Je to obraz našeho hvězdného okolí nebo jen Potěmkinova vesnice?

Jaké jsou typické, tuctové hvězdy, jejichž třpytem se kocháme?

Jak si mezi nimi stojí naše denní hvězda?

Jako chudý příbuzný.

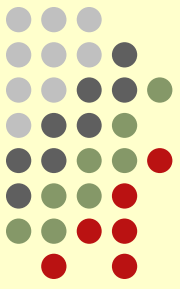
Extrémní hvězdy veleobři – horcí, chladní. Hvězdy s hmotností mnohonásobku Slunci, s výkonem o pět i více řádů vyšším než Slunce. Hvězdy tak rozměrné, že by se do nich schovala i zemská dráha.

I ty tuctové hvězdy oblohy, jako je Sírius či Arkturus, co do lesku Slunce hravě přečíslí.

A pak věřte svým očím. Vše je to jen šalba a klam **výběrového efektu**.

Všechny tyto hvězdy jsou ve skutečnosti svrchovaně vzácné a výjimečné. Skutečnost je jiná, mnohem všednější, ale ne nezajímavá!

Co je to hvězda?



Gravitačně vázaný souvislý objekt o hmotnosti $(0,08 - 200) M_{\odot}$. Hvězdy jsou stabilní objekty v hydrostatické rovnováze. Proti gravitaci se staví vztlak – tlak směrem k centru roste, vnitřek hvězdy hustý a teplý, vnější části jsou chladnější a řidké.

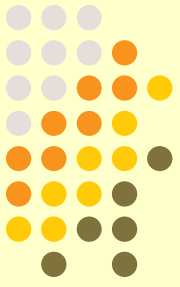
Na složení nesejde, ale zpravidla jde o směs vodíku a helia s příměsí těžších prvků.

Hvězdy září – efektivní teplota vyšší než teplota okolí – tok energie (někdy i látky) do prostoru → hvězdy se musí vyvíjet. Ve hvězdě se uvolňuje energie:

- Potenciální energie – hvězdy nebo jejich části se dlouhodobě smršťují
- Termonukleární reakce – nepružnými srážkami vznikají silněji vázaná jádra. Nejeftektivnější – z 4 protonů jádro He, z více jader He těžší prvky. Nukleosyntéza → až jádra železa – nejsilněji vázaná.

Uvolňování energie v jádru, k povrchu je přenos zářivou difuzí, konvekcí.

Vznik a vývoj hvězd



Hvězdy vznikají často po skupinách v hustých a chladných částích molekulových oblaků zhroucením náhodných zhustků. Polovina uvolněné energie na záření do prostoru, ostatek na ohřátí vnitřku protohvězdy.

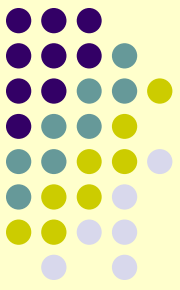
Kontrakce nejprve volným pádem, po dosažení mechanické rovnováhy pomalejším tempem. Smršťování se zastaví poté, až se rozběhne nový zdroj energie – TNR, které na sebe vezmou úkol dodávat vnějším částem hvězdy energii, která opouští hvězdu.

Jakmile v centru teplota dosáhne 10 MK vzniká se tam vodík – hvězda vstupuje do nejdelší etapy svého aktivního života – stane se hvězdou tzv. hlavní posloupnosti. Hvězdy HP se mění jen velmi málo, charakteristiky: poloměr, ef. teplota, zářivý výkon i doba strávená na HP je funkcí hmotnosti. Vše vztaženo ke Slunci:

$1 M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $T = 5730 \text{ K}$, $1 R_{\odot} = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$, $1 L_{\odot} = 4,6 \cdot 10^{26} \text{ W}$, $\tau = 10^{10} \text{ let}$.

Typy hvězd HP: červení trpaslíci $M < 0,8 M_{\odot}$, hvězdy slunečního typu (žlutí trpaslíci), horké hvězdy HP, $M > 1,5 M_{\odot}$.

Vnitřní a vnější vývoj hvězd



Hvězdy – energeticky aktivní **jádro** + pasívní **obal**, který se mu podřizuje.

Pokud se výkon jádra zvyšuje, obal expanduje a chladne a naopak.

Výkon jádra je dán vnitřní teplotou, hustotou a chemickým složením.

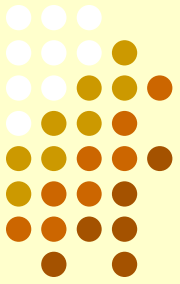
V průběhu vývoje hvězdy HP se většina energie uvolňuje jaderným hořením vodíku na helium v centru, kde je největší teplota. Popel reakcí se zde hromadí a jádro kontrahuje – teplota, a tím i výkon roste. Obal se nafukuje.

Až se v centru vodík vyčerpá, dojde k přestavbě TN reaktoru. Neaktivní heliové jádro se smrští, zahřeje a H reakce se zapálí ve slupce obepínající jádro. Výkon roste – hvězda se postupně mění ve stále rozměrnějšího **červeného obra**. Vývoj se prudce zrychluje, poloměr hvězdy – stovky R_{\odot} .

Teplota v jádru dosáhne 40 kK – zapálí v něm helium, v jádru dva TNR zdroje. Výkon jádra paradoxně poklesne – slupka s hořícím vodíkem zchladne, reakce začnou probíhat pomaleji.

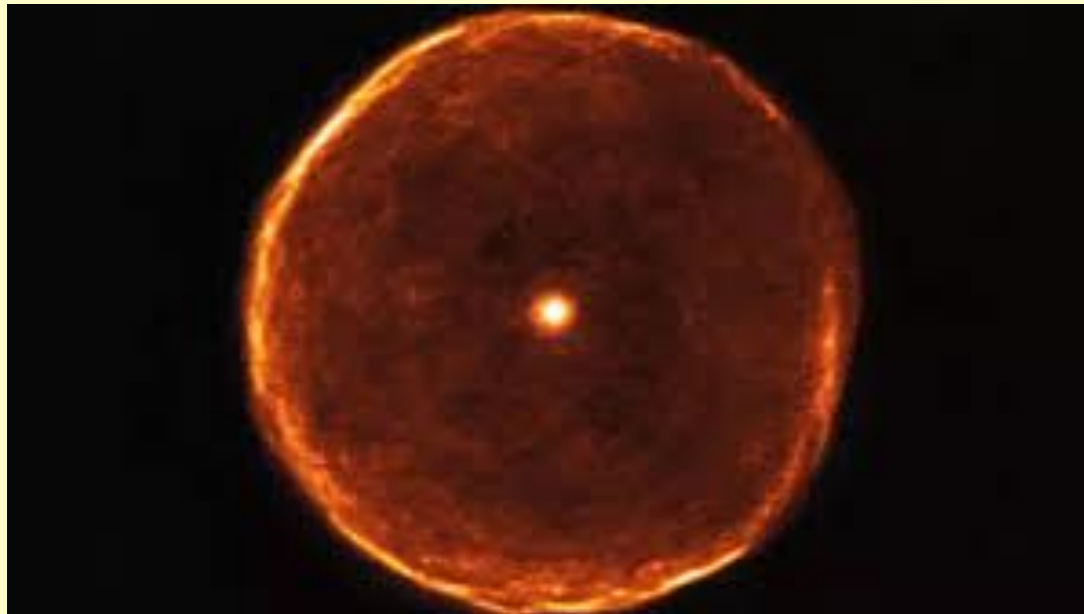
Vnější část hvězdy se smrští a zahřeje – hvězda se stává **žlutým podivobrem** s poloměrem několika sluncí. V tomto stavu setrvá hvězda poměrně dlouho.

Vývoj obrů. Bílí trpaslíci

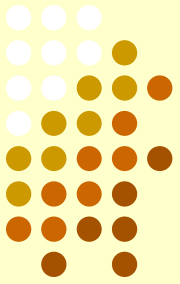


Uvnitř jádra pidiobrů se helium po čase vyčerpá, He začne hořet ve slupce. Nad ním je vrstva neaktívního He, nad ní vrstvička hořícího vodíku a chladný, jaderně neaktivní obal plný potenciálního paliva – vodíku.

Výkon hvězdy vzroste, hvězda znovu nabubří a stává se ještě větším, **červeným obrem asymptotické větve**. Vývoj se stává překotným, obal začne pulzovat a unikat z dosahu hvězdy. Hvězda kolem sebe čadí a nakonec v exhalacích úplně zmizí.



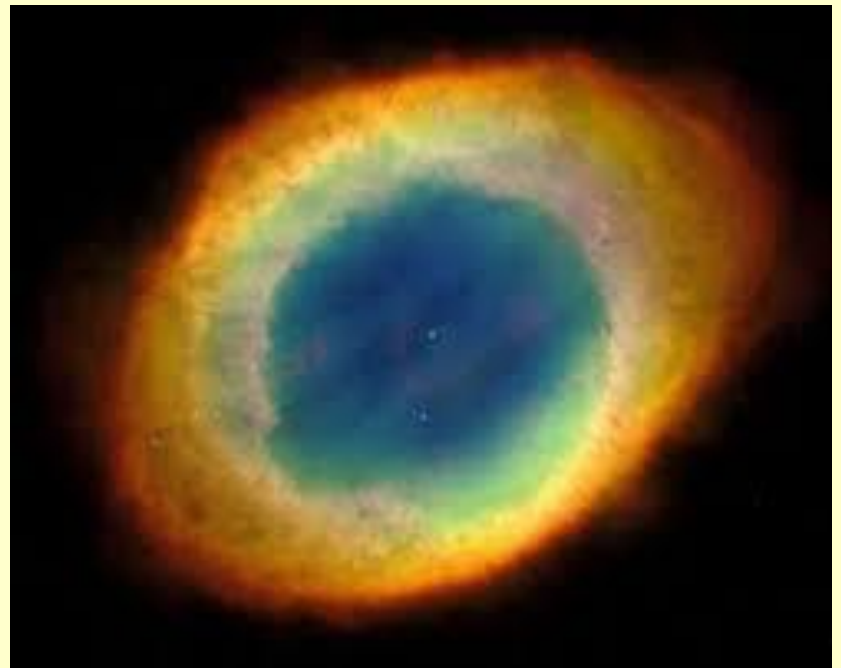
Vývoj obrů. Bílí trpaslíci



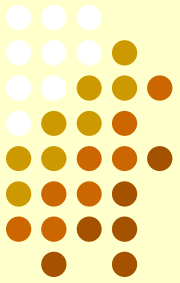
Uvnitř jádra pidiobrů se helium po čase vyčerpá, He začne hořet ve slupce. Nad ním je vrstva neaktívního He, nad ní vrstvička hořícího vodíku a chladný, jaderně neaktivní obal plný potenciálního paliva – vodíku.

Výkon hvězdy vzroste, hvězda znovu nabubří a stává se ještě větším, **červeným obrem asymptotické větve**. Vývoj se stává překotným, obal začne pulzovat a unikat z dosahu hvězdy. Hvězda kolem sebe čadí a nakonec v exhalacích úplně zmizí.

Posledním dějstvím je odhození celého obalu v podobě **planetární mlhoviny** a odhalení horkého jádra hvězdy. V něm TNR ustanou a zbytek hvězdy začíná pozvolna chladnout. Má rozměry Země a teplotu stovky kK.



Vývoj obrů. Bílí trpaslíci



Uvnitř jádra pidiobrů se helium po čase vyčerpá, He začne hořet ve slupce. Nad ním je vrstva neaktívního He, nad ní vrstvička hořícího vodíku a chladný, jaderně neaktivní obal plný potenciálního paliva – vodíku.

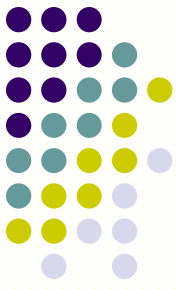
Výkon hvězdy vzroste, hvězda znovu nabubří a stává se ještě větším, **červeným obrem asymptotické větve**. Vývoj se stává překotným, obal začne pulzovat a unikat z dosahu hvězdy. Hvězda kolem sebe čadí a nakonec v exhalacích úplně zmizí.

Posledním dějstvím je odhození celého obalu v podobě **planetární mlhoviny** a odhalení horkého jádra hvězdy. V něm TNR ustanou a zbytek hvězdy začíná pozvolna chladnout. Má rozměry Země a teplotu stovky kK.

Stává **bílým trpaslíkem**, a později **černým trpaslíkem** složeným z elektronově degenerovaného plynu. Tato fáze trvá pak stovky miliard let. Ve vesmíru starém 14 miliard let do této fáze ještě žádná hvězda nedospěla.



Hvězdy v okolí Slunce

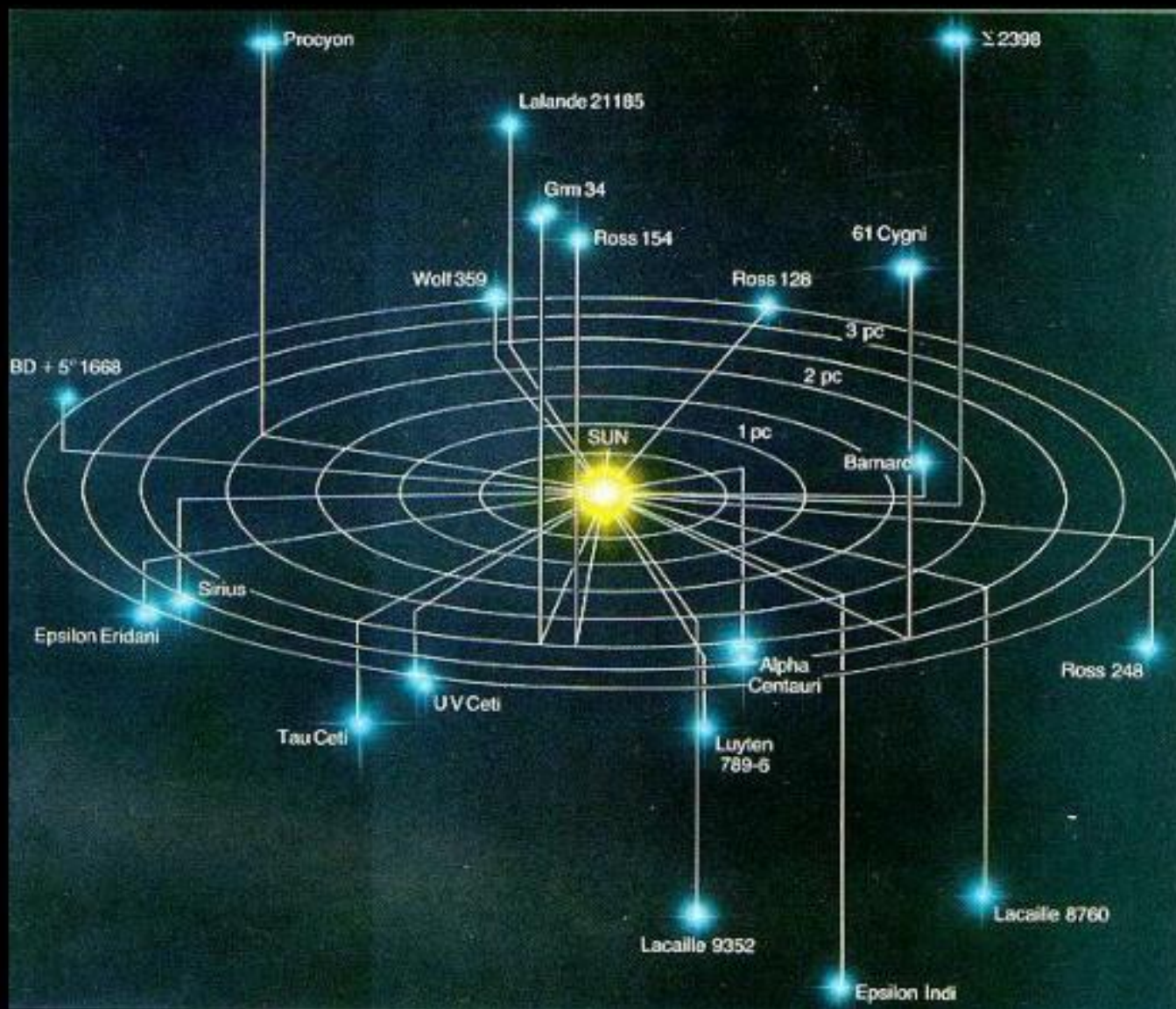


Jak tedy vypadají tuctové hvězdy? Hvězdy, kterých je v Galaxii nejvíc?

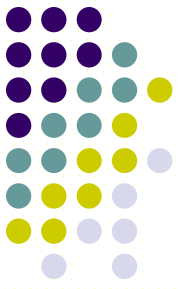
V blízkém okolí Slunce je nejbližší červený trpaslík – Proxima Centauri. K jejímu spatření je třeba triedr. Patří do soustavy s dvojicí hvězd podobných Slunci – alfa Centauri. Jinak naprostá většina okolních hvězd jsou červení trpaslíci – málo hmotné hvězdy hlavní posloupnosti. Svítí tak málo, že je snadno přehlédneme.

Hvězd větších než Slunce je pár – Sirius A, Prokyon A. Nejbližším obrem – pidiborem – je Pollux v souhvězdí Blíženců, docela blízko je pak pidiobr Capella. Červení obři i horcí veleobři zcela chybí.

Sluneční okolí



Hvězdy v okolí Slunce



Jak tedy vypadají tuctové hvězdy? Hvězdy, kterých je v Galaxii nejvíc?

V blízkém okolí Slunce je nejbližší červený trpaslík – Proxima Centauri. K jejímu spatření je třeba triedr. Patří do soustavy s dvojicí hvězd podobných Slunci – alfa Centauri. Jinak naprostá většina okolních hvězd jsou červení trpaslíci – málo hmotné hvězdy hlavní posloupnosti. Svítí tak málo, že je snadno přehlédneme.

Hvězd větších než Slunce je pár – Sirius A, Prokyon A. Nejbližším obrem – pidiborem – je Pollux v souhvězdí Blíženců, docela blízko je pak pidiobr Capella. Červení obři i horcí veleobři zcela chybí.

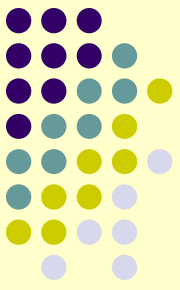
Proč je tomu tak? Pokud sledujeme jednotlivou hvězdu, máme možnost ji přistihnout právě ve stadiu, kdy se vyvíjí jen pomalu – tedy je-li hvězdou hlavní posloupnosti, pidiobrem nebo pak, když se stane bílým trpaslíkem.

Ve složení hvězdné populace hraje roli jak jsou ty které hvězdy hmotné. Zde zcela převládají málo hmotní červení trpaslíci.

Červení trpaslíci – nejtuctovější hvězdy



Červení trpaslíci – nejtuctovější hvězdy



ČT – s hmotností pod 0,8 sluncí, teplotou menší 4500 K, poloměrem pod půl slunce. Jejich zářivý výkon je tak malý, že vydrží svítit i další desítky či stovky miliard let. Vzhledem k tomu, že se jejich vnitřek promíchává, dokáží spálit na helium veškerý vodík ve hvězdě, ČT tu budou svítit ještě dávno po tom, kdy se ze Slunce stane chladnoucí bílý trpaslík.

Přitom jejich světlo není tak úplně červené, je v něm dostatek i modré složky, marihuana by si v tom světle přímo lebedila. Přesídlení Země k takovému ČT se zdá být řešením pro budoucí pozemské inženýry. Stačilo by si zvolit trochu bližší dráhu, a hvězda nás bude zahřívat prakticky věčně.

Červení trpaslíci ale nejsou až taková neviňátka. Jsou to hvězdy s rozvinutou aktivitou. Probíhají tam silné erupce, protuberance, hvězda produkuje spoustu rentgenové záření. Tato hvězda by nám udělala ze života hotové peklo, jak rádi bychom vzpomínali na naše poklidné a solidní Slunce.

Antares

Betelgeuse



Sol Sirius Pollux

Arcturus

Rigel

Aldebaran



Mezi pidiobry



Obři jsou nejmenší, pokud u nich hoří He kolem středu a vně se spaluje H. To jádro má cca $0,4 M_{\odot}$ velikost Marsu a výkon cca 80 sluncí. Obklopuje je řídký obal s vnější teplotou 5 kK. Vývoj je v té době relativně pomalý. Jak velký je takový **pidiobr**? Cimrman tento problém řešil též.

Hvězdní pidiobři – **žlutí obři** – mají cca $10 R_{\odot}$, patří k nim Capella, Pollux, epsilon Oph aj. Jaký bude jejich další vývoj? Stanou se příslušníky **asymptotické větve obrů** za cca 10^8 let, pak odhodí obal a stanou se BT.

Nicméně ty nejstarší hvězdy z kulových hvězdokup mohou mít i jiný osud – tam se do stadia pidiobrů dostávají hvězdy o hmotnosti Slunce. Tito pidiobři podstupují velmi dramatickou **odtučňovací kúru**, a jejich obal postupně mizí v prostoru. Ztenčuje se, peeling odhaluje stále teplejší a hustější části obalu až dosáhnou cca 25 kK.

Jádro produkuje stále stejný výkon, ale pidiobři – členové **horizontální větve obrů** jsou stále hubenější. Takoví mohou skončit pod poloměrem Slunce.